

TRANSMITTER AND RECEIVER FOR MIMO SYSTEM

Publication number: JP2002217752 (A)

Publication date: 2002-08-02

Inventor(s): CHUNG SEONG-TAEK; HUANG HOWARD C; LOZANO ANGEL + (CHUNG SEONG-TAEK, ; HUANG HOWARD C, ; LOZANO ANGEL)

Applicant(s): LUCENT TECHNOLOGIES INC + (LUCENT TECHNOL INC)

Classification:

- international: H04B1/04; H04B7/06; H04L1/00; H04L12/28; H04L25/02; H04B7/005; H04W52/26; H04W52/50; H04B1/04; H04B7/04; H04L1/00; H04L12/28; H04L25/02; H04B7/005; H04W52/00; (IPC1-7): H04B1/04; H04L12/28

- European: H04B7/06C1F; H04L1/00A1M; H04L1/00A5; H04L1/00A8S; H04L1/00A9A; H04L25/02C1

Application number: JP20010349252 20011114

Priority number(s): US20000714084 20001116

Abstract of JP 2002217752 (A)

Translate this text

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain a substantial improvement in capacity over the case of no feedback by using considerably less bandwidth than is required to feedback the channel estimate or channel statistics in a MIMO(multiple-input multiple- output) system. SOLUTION: An indicator of a rate and/or an indicator of a gain for transmission of a data substream are supplied as feedback for each data substream of an overall data stream. The indicator of the rate and/or the indicator of the gain may be the rate and/or gain directly or an encoded representation of the rate and/or gain. The best performance is achieved if indicators of both the rate and the gain are fed back. The rate and the gain are computed as a function of a channel estimate which is developed at the receiver. The transmitter may employ only one-dimensional data coding for each of the data substreams.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-217752
(P2002-217752A)

(43)公開日 平成14年8月2日(2002.8.2)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト*(参考)
H 0 4 B 1/04		H 0 4 B 1/04	E 5 K 0 3 3
H 0 4 L 12/28	3 0 0	H 0 4 L 12/28	3 0 0 B 5 K 0 6 0

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-349252(P2001-349252)

(22)出願日 平成13年11月14日(2001.11.14)

(31)優先権主張番号 09/714084

(32)優先日 平成12年11月16日(2000.11.16)

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 596077259
ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド
Lucent Technologies
Inc.
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(74)代理人 100081053
弁理士 三俣 弘文

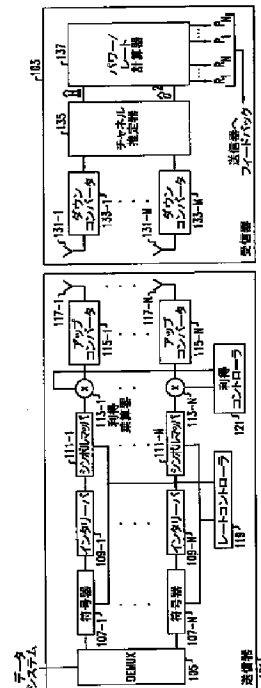
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 MIMOシステムの送信器および受信器

(57)【要約】

【課題】 MIMOシステムにおいて、チャネル推定量あるいはチャネル統計量をフィードバックするのに要求されるよりも相当に小さい帯域幅を用いて、フィードバックのない場合に比べて実質的な改善を達成する。

【解決手段】 全データストリームのそれぞれのデータサブストリームごとのフィードバックとして、そのデータサブストリームの伝送についてのレートインジケータあるいは利得インジケータを供給する。レートあるいは利得インジケータは、レートあるいは利得自体であることも、レートあるいは利得の符号化表現であることも可能である。レートおよび利得の両方のインジケータがフィードバックされる場合に、最良のパフォーマンスが達成される。レートおよび利得は、受信器で生成されるチャネル推定量の関数として計算される。送信器は、それぞれのデータサブストリームごとに1次元データ符号化のみを用いればよい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 データストリームから導出される複数のデータサブストリームを送信するための多入力多出力

(MIMO) システムの送信器において、各データサブストリームについてのレートおよびパワーのインジケータをフィードバックとして受信する手段と、

それぞれのデータサブストリームに対して、該データサブストリームについて受信した前記レートおよびパワーのインジケータに対応するレート制御およびパワー制御を施す手段とを有することを特徴とする送信器。

【請求項2】 データストリームから導出される複数のデータサブストリームを受信するための多入力多出力

(MIMO) システムの受信器において、チャンネル特性を推定する手段と、

前記推定する手段によって生成された、推定されるチャンネル特性の関数として、各データサブストリームについてレートのインジケータおよびパワーのインジケータを導出する手段と、

前記レートの前記インジケータおよび前記パワーの前記インジケータをフィードバックとして送信器へ送信する手段とを有することを特徴とする送信器。

【請求項3】 全データストリームから導出される複数のデータサブストリームを送信するための多入力多出力

(MIMO) システムの送信器において、

前記データサブストリームのそれぞれに対して1つずつ設けられ、前記送信器によって送信された前記サブストリームの受信器からのフィードバックとして受信されるレート情報にตอบสนองして動作する複数の符号器と、

それぞれ前記データサブストリームのうちの1つを符号化したものを受信するように接続され、前記レート情報にตอบสนองして動作する複数のシンボルマップとを有することを特徴とする送信器。

【請求項4】 前記受信器からの前記フィードバックの一部として受信されるパワー情報にตอบสนองして動作する複数の利得乗算器をさらに有することを特徴とする請求項3記載の送信器。

【請求項5】 それぞれ、前記符号器のうちの対応する符号器と前記シンボルマップのうちの対応するシンボルマップとの間に接続された複数のインターバをさらに有することを特徴とする請求項3記載の送信器。

【請求項6】 前記シンボルマップのそれぞれは、前記データサブストリームのうちの対応するデータサブストリームに対する、前記符号器のうちの対応する符号器と関連づけられていることを特徴とする請求項3記載の送信器。

【請求項7】 前記シンボルマップのそれぞれは、前記データサブストリームのうちの対応するデータサブストリームに対する送信パスにある、前記符号器のうちの対応する符号器と関連づけられ、それぞれの送信パスにつ

いて、その関連づけられた符号器およびシンボルマップは前記レート情報から同一のレートを受け取ることを特徴とする請求項3記載の送信器。

【請求項8】 前記レート情報にตอบสนองして使用されるべきレートを前記シンボルマップおよび前記符号器のそれぞれに供給するレートコントローラをさらに有することを特徴とする請求項3記載の送信器。

【請求項9】 符号化されたフォーマットで受信される前記レート情報の関数として、前記レート情報にตอบสนองして使用されるべきレートを前記シンボルマップおよび前記符号器のそれぞれに供給するレートコントローラをさらに有することを特徴とする請求項3記載の送信器。

【請求項10】 全データストリームから導出される複数のデータサブストリームを送信するための多入力多出力(MIMO) システムの送信器において、

前記データサブストリームのそれぞれに対して1つずつ設けられ、前記送信器によって送信された前記サブストリームの受信器からのフィードバックとして受信されるパワー情報にตอบสนองして動作する複数の利得適用器を有することを特徴とする送信器。

【請求項11】 前記パワー情報にตอบสนองして使用されるべきパワーを前記利得適用器のそれぞれに供給する利得コントローラをさらに有することを特徴とする請求項10記載の送信器。

【請求項12】 符号化されたフォーマットで受信される前記パワー情報の関数として、使用されるべきパワーを前記利得適用器のそれぞれに供給する利得コントローラをさらに有することを特徴とする請求項10記載の送信器。

【請求項13】 全データストリームから導出される複数のデータサブストリームを受信するための多入力多出力(MIMO) システムの受信器において、

(i) 受信される前記複数のデータサブストリームから全チャンネル推定量を生成するとともに、(ii) 前記全チャンネルにおけるノイズパワーの推定量を生成するチャンネル推定器と、

前記サブストリームの送信器によって使用されるべきパワーを、前記サブストリームのそれぞれについて1つずつ計算するパワー計算器とを有することを特徴とする受信器。

【請求項14】 全データストリームから導出される複数のデータサブストリームを受信するための多入力多出力(MIMO) システムの受信器において、

(i) 受信される前記複数のデータサブストリームから全チャンネル推定量を生成するとともに、(ii) 前記全チャンネルにおけるノイズパワーの推定量を生成するチャンネル推定器と、

前記サブストリームの送信器によって使用されるべきレートを、前記サブストリームのそれぞれについて1つずつ計算するレート計算器とを有することを特徴とする受

信器。

【請求項15】 全データストリームから導出される複数のデータサブストリームを送信するための処理の際に多入力多出力(MIMO)システムで用いられる方法において、

前記データサブストリームのそれぞれに対して前記MIMOシステムの受信器からのフィードバックとして受信されるそれぞれのレートのインジケータの関数として、前記データサブストリームのそれぞれを符号化して、符号化データサブストリームを生成するステップと、前記符号化データサブストリームをそれぞれインタリーブした後、前記データサブストリームのそれぞれに対して前記MIMOシステムの受信器からのフィードバックとして受信される前記それぞれのレートのインジケータの関数として選択されるコンステレーションを用いて、前記符号化されインタリーブされたデータストリームのそれぞれに対してマッピングを実行し、符号化されインタリーブされマッピングされたデータサブストリームを生成するステップとを有することを特徴とする、複数のデータサブストリームを送信するための処理の際にMIMOシステムで用いられる方法。

【請求項16】 前記符号化されインタリーブされマッピングされたデータサブストリームのそれぞれのパワー制御のために前記MIMOシステムの前記受信器からフィードバックとして受信されるそれぞれのインジケータの関数として、前記符号化されインタリーブされマッピングされたデータサブストリームのそれぞれのパワーを制御するステップをさらに有することを特徴とする請求項15記載の方法。

【請求項17】 各データサブストリームについて1つずつのN個の送信バスと、M個の受信バスとがあり、したがってN×M個のチャンネルがあり、前記インジケータ*

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

ただし、 \bar{P}_n は再計算されたパワーを表す、を計算することによって、現在のサブストリームnのパワーを再計算するステップと、によって生成されることを特徴とする請求項16記載の方法。

【請求項18】 $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n > 0$ であるとき、nをデクリメントするステップと、 $P_{\text{remaining}}$ を $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n$ を代入するステップと、nが0に等しくない場合、前記割り当てるステップ、計算するステップ、量子化するステップおよび再計算するステップを繰り返すステップと、をさらに有することを特徴とする請求項16記載の方法。

【請求項19】 $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n \leq 0$

*および前記レートは、前記受信器において、

N×M行列である全チャンネル推定量 \hat{H} を生成するステップと、

チャンネル中のノイズパワー $\hat{\sigma}^2$ を決定するステップと、

カウンタnをNの値に初期化するステップと、

変数 $P_{\text{remaining}}$ をシステムで利用可能な全送信パワー P_T に初期化するステップと、

n番目のサブストリームの初期パワー割当て P_n に値 $P_{\text{remaining}}/n$ を割り当てるステップと、

$R_n = \log_2 (1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ (n = 1, ..., N)、ただし、

R_n は、n番目の送信サブストリームに対して使用されるべきレートであり、

$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ は、n番目の送信サブストリームに対する複素M次元ベクトルであり、

$h_{m,n}$ は、n番目の送信サブストリームからm番目の受信ブランチへの複素チャンネル係数(m = 1, ..., M)であり、

上付き添字Tは、行列転置演算を表し、

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ は、 $M \times (N - n)$ 行列であり、

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag} (P_{n+1} \dots P_N)$ は、割り当てられたパワーの(N - m)次対角行列であり、

上付き添字Hは、エルミート共役演算を表し、

上付き添字-1は、逆行列演算を表し、

Iは、サイズM×Mの単位行列を表す、を計算するステップと、

R_n を最も近いステップサイズに量子化して \bar{R}_n を生成するステップと、

【数1】

であるとき、

\bar{R}_n を、 R_n より小さくて最も近いステップサイズ値に切り下げ量子化された R_n の値に等しいとおくステップと、

前記再計算するステップを繰り返すステップと、をさらに有することを特徴とする請求項16記載の方法。

【請求項20】 多入力多出力(MIMO)システムの受信器で用いられる方法において、

送信されるべき各データサブストリームについて1つずつのN個の送信バスと、M個の受信バスとがあり、したがって全チャンネルにはN×M個のチャンネルがあり、N×M行列である全チャンネル推定量 \hat{H} を生成するステップと、

チャンネル中のノイズパワー $\hat{\sigma}^2$ を決定するステップ

と、
 カウンタ n を N の値に初期化するステップと、
 変数 $P_{\text{remaining}}$ をシステムで利用可能な全送信パワー P_T に初期化するステップと、
 n 番目のサブストリームの初期パワー割当て P_n に値 $P_{\text{remaining}}/n$ を割り当てるステップと、
 $R_n = \log_2 (1 + P_n h_n^H (H_{n+1:N} P_{n+1:N} H_{n+1:N}^H + I)^{-1} h_n)$ ($n = 1, \dots, N$)、ただし、
 R_n は、 n 番目の送信サブストリームに対して使用され
 べきレートであり、
 $h_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ は、 n 番目の送信
 サブストリームに対する複素 M 次元ベクトルであり、
 $h_{m,n}$ は、 n 番目の送信サブストリームから m 番目の*

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{h_n^H (H_{n+1:N} P_{n+1:N} H_{n+1:N}^H + I)^{-1} h_n}$$

ただし、バー P_n は再計算されたパワーを表す、を計算
 することによって、現在のサブストリーム n のパワーを
 再計算するステップとを有することを特徴とする、 MIM
 O システムの受信器で用いられる方法。

【請求項21】 $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n > 0$
 であるとき、

n をデクリメントするステップと、

$P_{\text{remaining}}$ を $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n$
 n を代入するステップと、

n が0に等しくない場合、前記割り当てるステップ、計
 算するステップ、量子化するステップおよび再計算する
 ステップを繰り返すステップと、をさらに有することを
 特徴とする請求項20記載の方法。

【請求項22】 $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n \leq 0$
 であるとき、

バー R_n を、 R_n より小さくて最も近いステップサイズ
 値に切り下げ量子化された R_n の値に等しいとおくステ
 ップと、

前記再計算するステップを繰り返すステップと、をさら
 に有することを特徴とする請求項20記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ワイヤレス通信技
 術に関し、特に、送信器における複数のアンテナおよび
 受信器における複数のアンテナを用いたワイヤレス通信
 システム、すなわちいわゆる多入力多出力(MIMO:
 multiple-input multiple-output)システムに関する。

【0002】

【従来の技術】多入力多出力(MIMO)システムは、
 単一アンテナシステム、すなわち、単一アンテナから単
 一アンテナへ、あるいは、複数のアンテナから単一のアン
 テナへのシステムに比べて、大幅に改善された容量を

*受信ブランチへの複素チャネル係数($m = 1, \dots,$
 M)であり、

上付き添字 T は、行列転置演算を表し、

$H_{n+1:N} = [h_{n+1} \dots h_N]$ は、 $M \times (N -$
 $n)$ 行列であり、

$P_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ は、割
 り当てられたパワーの $(N - m)$ 次対角行列であり、

上付き添字 H は、エルミート共役演算を表し、

上付き添字 -1 は、逆行列演算を表し、

I は、サイズ $M \times M$ の単位行列を表す、を計算するステ
 ップと、

R_n を最も近いステップサイズに量子化してバー R_n を
 生成するステップと、

【数2】

達成することができることが当業者に知られている。ま
 た、チャネル推定量、あるいは、チャネル推定量に基づ
 くチャネル統計量が送信器にフィードバックされる場
 合、チャネルのスループットは、フィードバックのない
 同一構成のシステムに比べて改善されることも当業者に
 知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、 $MIMO$ シス
 テムでは、全チャネルは実際には、各送信器・受信器の
 ペアごとに1チャネルずつの複数のチャネルからなるた
 め、このようなフィードバックはかなりの帯域幅を要求
 し、そのように大きい帯域幅をフィードバック用に供す
 るのは好ましくない。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の原理によれば、
 $MIMO$ システムにおいて、全データストリームのそれ
 ぞれのデータサブストリームごとのフィードバックとし
 て、そのデータサブストリームの伝送についてのレート
 のインジケータあるいは利得のインジケータを供給する
 ことにより、チャネル推定量あるいはチャネル統計量を
 フィードバックするのに要求されるよりも相当に小さい
 帯域幅を用いて、フィードバックのない場合に比べて実
 質的な改善が達成される。レートのインジケータある
 いは利得のインジケータは、レートあるいは利得自体であ
 ることも、レートあるいは利得の符号化表現であること
 も可能である。一般に、レートおよび利得の両方のイン
 ジケータがフィードバックされる場合に、最良のパフォー
 マンスが達成される。本発明がワイヤレスシステムの
 ために実施される場合、一般に、それぞれのデータサブ
 ストリームごとに、別々の独立のアンテナがある。レー
 トおよび利得は、受信器で生成されるチャネル推定量の
 関数として計算される。送信器は、それぞれのデータサ

ブストリームごとに1次元データ符号化のみを用いればよい。

【0005】

【発明の実施の形態】以下は、本発明の原理の単なる例示である。当業者には理解されるように、以下では明示的に記載していなくても、本発明の原理を実現するさまざまな構成を考えることが可能であり、それらも本発明の技術思想および技術的範囲に含まれる。さらに、ここに記載されるすべての例および条件は、本発明の原理と、本発明の発明者による技術向上に寄与した考え方との理解を助けるためということを主に意図しており、そのような特に記載された例および条件に限定する意図はないものと解釈されなければならない。さらに、本発明の原理、特徴、および実施例についてのすべての記載は、それらの構造的および機能的等価物（均等物）を含むことを意図している。また、このような均等物には、現在知られている均等物とともに、将来開発される均等物、すなわち、構造にかかわらず同じ機能を実現する要素をも含むことを意図している。

【0006】したがって、例えば、当業者には理解されるように、ブロック図は、本発明の原理を実現する例示的な回路の概念図を表す。同様に、フローチャート、フロー図、状態遷移図、擬似コードなどは、コンピュータやプロセッサが明示されているかどうかにかかわらず、コンピュータ可読媒体中に実質的に表現されそのようなコンピュータあるいはプロセッサによって実行されるさまざまなプロセスを表す。

【0007】「プロセッサ」として示された機能ブロックを含む、図示されるさまざまな要素の機能は、専用ハードウェアの使用により、また、適当なソフトウェアと連繋してソフトウェアを実行することが可能なハードウェアの使用により、提供されることが可能である。プロセッサによって提供される場合、その機能は、単一の専用プロセッサによって、単一の共有プロセッサによって、あるいは、複数のプロセッサ（その一部は共有でもよい）によって提供されることが可能である。さらに、「プロセッサ」あるいは「コントローラ」という用語の明示的使用は、ソフトウェアを実行可能なハードウェアのみを指すものと解釈されるべきではなく、黙示的に、デジタル信号プロセッサ（DSP）ハードウェア、ソフトウェアを記憶するための読み出し専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、および不揮発性記憶を含むことが可能であり、またこれらには限定されない。他のハードウェアも、定形・カスタムにかかわらず含まれる。同様に、図示されるスイッチは単に概念的なものである。それらの機能は、プログラムロジックの動作により、専用ロジックにより、プログラム制御と専用ロジックの相互作用により、あるいは手動でも、実行可能であり、個々の技術は、状況から具体的に理解されるようにして、実装者により選択可能である。

【0008】特許請求の範囲において、指定された機能を実行する手段として表現される要素は、（a）その機能を実行する回路要素の組合せ、または（b）任意の形式の、したがって、ファームウェア、マイクロコードなどを含むソフトウェアと、その機能を実現するようにそのソフトウェアを実行するための適当な回路との組合せ、を包含することを意図している。このような特許請求の範囲によって定義される本発明は、記載されたさまざまな手段によって提供される機能が、特許請求の範囲に記載されたように組み合わせられることに存する。したがって、出願人は、それらの機能を提供することができる任意の手段を、以下で説明するものと等価（均等）であるとみなす。

【0009】図1に、本発明の原理に従って、単一アンテナシステムに比べて大幅に改善された容量を達成するように構成された多入力多出力（MIMO）システムの実施例を示す。具体的には、図1は、送信器101および受信器103を示している。送信器101は、（a）デマルチプレクサ（DEMUX）105、（b）符号器107-1～107-Nを含む符号器107、（c）インタリーバ109-1～109-Nを含むインタリーバ109、（d）シンボルマップ111-1～111-Nを含むシンボルマップ111、（e）利得乗算器113-1～113-Nを含む利得乗算器113、（f）オプションのアップコンバータ115-1～115-Nを含むオプションのアップコンバータ115、（g）オプションの送信アンテナ117-1～117-Nを含むオプションの送信アンテナ117、（h）レートコントローラ119、および（i）利得コントローラ121、を有する。受信器103は、（a）オプションの受信アンテナ131-1～131-Mを含むオプションの受信アンテナ131、（b）オプションのダウンコンバータ133-1～133-Mを含むオプションのダウンコンバータ133、（c）チャネル推定器135、および（d）パワー／レート計算器137、を有する。

【0010】デマルチプレクサ105は、送信されるべきデータである全データストリームを入力として受け取り、それを、それぞれが独立の送信パスに沿って処理され送信されるべきN個のデータサブストリームに分ける。

【0011】符号器107のそれぞれは、データサブストリームの冗長性を増大させるように、受け取ったそれぞれのデータサブストリームにチャネル符号化を施す。これは、誤りが生じた場合に受信器における誤り回復を容易にする。本発明の特徴によれば、使用されるチャネル符号化のタイプは、受信器からフィードバックされるレート、またはそのインジケータの関数である。この関数は、フィードバックされるレートのインジケータに対するルックアップテーブルを用いて実現されることが可能であり、一般に、レートコントローラ119によって

実現される。実現されるべきシステムの具体的な詳細、例えば、チャンネル統計量、使用されるサブストリームの個数などが与えられた場合に、このような関数をどのようにして構成するかは、当業者には容易に理解されるところである。使用されるチャンネル符号化のタイプは、符号化されるデータサブストリームにおける冗長性の特定の量を決定する。なお、この冗長性の量は符号レート（符号化率）として知られている。符号器107のそれぞれは、他の符号器107によって使用されるチャンネル符号化とは独立のチャンネル符号化を使用することも可能であり、それぞれ、独立に指定されたレートを受け取ることも可能である。

【0012】インタリーバ109は、本質的に従来のものであり、それぞれ、受け取った符号化データサブストリームのビットを並べ替えて、チャンネルフェードに対する保護を提供する。

【0013】シンボルマップ111のそれぞれは、受け取ったインタリーブされた符号化チャンネルサブストリームのビットを、コンステレーション内の1点にマッピングする。本発明の特徴によれば、使用される特定のコンステレーションは、受信器からフィードバックされるレート、またはそのインジケータの関数として選択される。この関数は、フィードバックされるレートのインジケータに対するルックアップテーブルを用いて実現されることが可能であり、一般に、レートコントローラ119によって実現される。実現されるべきシステムの具体的な詳細、例えば、チャンネル統計量、使用されるサブストリームの個数などが与えられた場合に、このような関数をどのようにして構成するかは、当業者には容易に理解されるところである。一般に、データ伝送レートが小さいほど、そのレートでデータを伝送するためのコンステレーション内のシンボル数も少ない。

【0014】本発明の特徴によれば、利得乗算器113のそれぞれは、受け取ったマッピングされたデータサブストリームに、受信器からのフィードバックにおいて示された利得をかける（適用する）。本発明の実施例では、利得乗算器113のうちの1つに対応する特定のチャンネルが良好なほど、かけられる利得は、例えばwaterfilling（注水）の原理に従って、大きくなる。

【0015】オプションのアップコンバータ115のそれぞれは、従来のアップコンバート機能を実行する。無線型システムの場合、アップコンバータ115のそれぞれは、入力として受け取る利得制御されたマッピングされたデータサブストリームを用いてキャリア波形を変調することによって、無線周波数信号を生成する。結果として得られるそれぞれの変調信号は、アップコンバータ115のそれぞれに結合可能な対応するオプションの送信アンテナ117に供給されることが可能である。

【0016】レートコントローラ119は、受信器からのフィードバックを介して、レート、またはそのインジ

ケータを受け取り、受け取った情報から、各サブストリームの符号レートおよびコンステレーションサイズを導出する。その後、本発明の特徴によれば、それぞれの符号レート、またはそのインジケータが、使用する適当な符号器およびコンステレーションに供給され、あるいは、そのインジケータが、各シンボルマップに供給される。こうして、レートコントローラ119は、受信器103からフィードバックされる情報から符号レートおよびコンステレーションを決定するために、マッピング機能を実行することが可能となる。

【0017】利得コントローラ121は、受信器103からのフィードバックを介して、利得、またはそのインジケータを受け取り、各サブストリームについて対応する利得乗算器113によって使用される利得を導出する。なお、パワーと利得の間には直接の関係がある。具体的には、パワーは、パワーの平方根をとることによって、利得に変換される。したがって、パワーは、利得のインジケータであることが可能であり、その逆も可能である。パワー情報は、フィードバックを介して受け取られる場合、適当な利得に容易に変換可能である。

【0018】なお、レートコントローラ119の機能は、符号器107およびシンボルマップ111に組み込むことも可能である。同様に、利得コントローラ121の機能は、利得乗算器113に組み込むことも可能である。

【0019】オプションの受信アンテナ131のそれぞれは、オプションの送信アンテナ117のそれぞれから信号を受信する。各アンテナで受信される信号は、それが結合しているオプションのダウンコンバータ133によってベースバンドに変換される。結果として得られるベースバンド信号は、チャンネル推定器135に供給される。

【0020】チャンネル推定器135は、それぞれの送信・受信ペアごとにチャンネルの推定量を生成する。したがって、N個の送信アンテナおよびM個の受信アンテナの場合、 $N \times M$ 個のチャンネルがある。それぞれのチャンネルに対する推定量は、全チャンネル推定量の $N \times M$ 行列 \hat{H} にまとめられる。さらに、チャンネル推定器135は、チャンネルにおけるノイズパワーの推定量 σ^2 を生成する。

【0021】 \hat{H} および σ^2 は、パワー／レート計算器137に供給される。本発明の原理によれば、パワー／レート計算器137は、デマルチプレクサ105によって生成された各データサブストリームに対して送信器101が使用するべきレートRおよびパワーP（これは、上記のように、直接に利得に対応し、利得の形で送信器101によって使用される）またはそのインジケータを計算する。レートおよびパワーは、フィードバックチャンネルを用いて送信器101に供給される。

【0022】レートおよびパワーがパワー／レート計算

10

20

30

40

50

器137によって割り当てられるプロセスは、実装者に任されている。当業者であれば、以下の説明および例が与えられれば、自己のプロセスを開発することができる。具体的には、プロセスの目標は、全チャンネル容量を最大化するようにレートおよびパワーを割り当てることである。このため、一般に、品質の良いチャンネルほど、より高いレートおよびより高いパワーが割り当てられることになる。

【0023】なお、受信器103には、復号器およびデインタリーバが示されていない。この理由は、復号器およびデインタリーバは（受信器103の出力としてデータを生成する前に、送信器で実行された相補的な作用を逆転させるために）完全な受信器のためには必要であるが、チャンネル推定器135に供給されるデータストリームには不要であるので、説明を明確にするために示していないからである。

【0024】図2に、本発明の特徴に従って、N個の送信サブストリームおよびM個の受信ブランチを有するシステムに対してレートおよびパワーを決定するための例示的なプロセスを示す。本発明の一実施例では、図2のプロセスは常に動作していることが可能である。しかし、プロセスによって決定される値は、以前にフィードバックされた値からの相当の偏差があるときのみフィードバックされる。本発明のもう1つの実施例では、プロセスの実行を正当化するのに十分な量だけチャンネルが変化するとチャンネル推定器135（図1）が判定したときのみ、プロセスの実行を開始することが可能である。例えば、レートおよびパワーが決定された最も最近の \hat{H} と、現在の \hat{H} との差のノルムが規定のしきい値より大きいときに、図2のプロセスがパワー／レート計算器137（図1）によって実行される。

【0025】レートおよびパワーが計算されるべきであ

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

ただし、バー P_n は、再計算されたパワーを表す。条件分岐点211は、 $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n > 0$ であるかどうかを判定するためのテストを行う。このテストは、残りのパワーの量が、サブストリームnに割り当てられるパワーの量より大きいかどうか、すなわち、その割当てをサポートするのに十分なパワーが残っているためパワー割当てが実際に実行可能であるかどうか、を判定する。ステップ211におけるテスト結果がYESであり、パワー割当てが実際に実行可能であることを示している場合、制御はステップ213に移り、そこで、カウンタnがデクリメントされ、 $P_{\text{remaining}}$ に $P_{\text{remaining}} - \text{バー}P_n$ が代入される。

【0028】条件分岐点215は、 $n = 0$ であるかどうか

と判定されると、ステップ200（図2）で、プロセスが開始される。ステップ201で、いくつかの変数を初期化する。具体的には、カウンタnはNの値に初期化され、変数 $P_{\text{remaining}}$ の値は P_T に初期化される。 P_T は、図2のプロセスが使用されているシステムで利用可能な全送信パワーである。次に、ステップ203で、 $P_{\text{remaining}} / n$ の初期パワー割当て（ P_n で表す）が、n番目のサブストリームに割り当てられる。ステップ205で、 $R_n = \log_2 (1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ （ $n = 1, \dots, N$ ）を計算する。ただし、 $\mathbf{h}_n = [\mathbf{h}_{1,n} \dots \mathbf{h}_{M,n}]^T$ は、n番目の送信サブストリームに対する複素M次元ベクトルであり、 $\mathbf{h}_{m,n}$ は、n番目の送信サブストリームからm番目の受信ブランチへの複素チャンネル係数（ $m = 1, \dots, M$ ）であり、上付き添字Tは、行列転置演算を表し、 $\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ は、 $M \times (N - n)$ 行列であり、 $\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ は、割り当てられたパワーの（ $N - m$ ）次対角行列であり、上付き添字Hは、エルミート共役演算を表し、上付き添字-1は、逆行列演算を表し、 \mathbf{I} は、サイズ $M \times M$ の単位行列を表す。

【0026】ステップ207で、 R_n の値を、最も近いステップサイズ（例えば、最も近い整数、所定の整数の倍数のうち最も近い整数、または、所定の値の倍数で最も近いもの、など）に量子化する。量子化された R_n の値をバー R_n で表す。

【0027】ステップ209で、現在のサブストリームのパワーを再計算する。これは、次式を計算することによって実行することが可能である。

【数3】

か、すなわち、すべてのサブストリームの処理が済んだかどうか、を判定するためのテストを行う。ステップ215におけるテスト結果がNOである場合、制御はステップ203に戻り、プロセスは上記のとおり継続される。ステップ215におけるテスト結果がYESである場合、制御はステップ217に移り、プロセスは終了する。

【0029】ステップ211におけるテスト結果がNOである場合、パワー割当てが実際には実行可能でないことを示しており、制御はステップ219に移り、そこで、バー R_n は、 R_n より小さくて最も近いステップサイズ（例えば、 R_n より小さい最も近い整数、所定の整数の倍数のうち R_n より小さい最も近い整数、または、所定の値の倍数で最も近いものであって R_n より小さい

10

20

30

40

50

数、など)に切り下げ量子化された R_n の値に等しいとおかれる。この結果、 P_n の値は小さくなる。その後、制御はステップ209に戻り、プロセスは上記のとおり継続される。

【0030】図2のプロセスが完了すると、生成されたレートおよびパワーは、送信器での使用のためにフィードバックパスを介して提供されることが可能である。あるいは、レートおよびパワーは、符号化され、適当なレートおよびパワー(したがって利得)を決定するために送信器によって解釈されることが可能なインジケータによって表現されるようにすることも可能である。この場合も、上記のように、パワーは、受信器において利得に変換され、利得情報自体、またはその符号化された表現が、送信器での使用のためにフィードバックパスを介して提供されることが可能である。さらに、本発明の特徴によれば、レートに関する情報のみ、またはパワー(したがって利得)に関する情報のみをフィードバックしても、(両方をフィードバックするほうがパフォーマンスは良好になるが)従来技術に比べて改善が達成される。

【0031】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、MIMOシステムにおいて、全データストリームのそれぞれのデータサブストリームごとのフィードバックとして、そのデータサブストリームの伝送についてのレートのインジケータあるいは利得のインジケータを供給することにより、チャネル推定量あるいはチャネル統計量をフィードバックするのに要求されるよりも相当に小さい帯域幅を用いて、フィードバックのない場合に比べて実質的な改善が達成される。

*【0032】特許請求の範囲の発明の要件の後に括弧で記載した番号がある場合は、本発明の一実施例の対応関係を示すものであって、本発明の範囲を限定するものと解釈すべきではない。

【図面の簡単な説明】

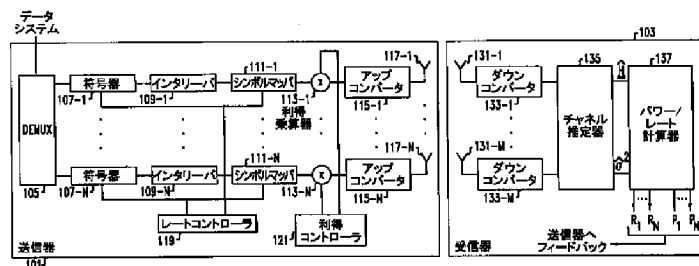
【図1】本発明の原理に従って、単一アンテナシステムに比べて大幅に改善された容量を達成するように構成された多入力多出力(MIMO)システムの実施例の図である。

10 【図2】本発明の特徴に従って、N個の送信サブストリームおよびM個の受信ブランチを有するシステムに対してレートおよびパワーを決定するための例示的なプロセスを示す図である。

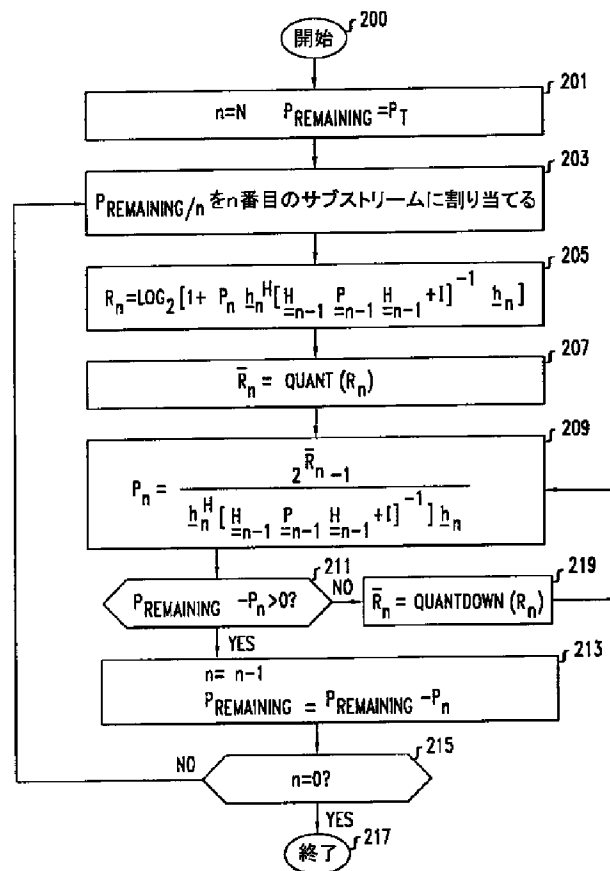
【符号の説明】

- 101 送信器
- 103 受信器
- 105 デマルチプレクサ(DEMUX)
- 107 符号器
- 109 インタリーバ
- 20 111 シンボルマップ
- 113 利得乗算器
- 115 アップコンバータ
- 117 送信アンテナ
- 119 レートコントローラ
- 121 利得コントローラ
- 131 受信アンテナ
- 133 ダウンコンバータ
- 135 チャネル推定器
- * 137 パワー/レート計算器

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 セオン タエク チャン

アメリカ合衆国、94041 カルフォルニア
州、マウンテン ビュー、カルデロン ア
ベニュー 7 番、151

(72)発明者 ハワード シー フアン

アメリカ合衆国、10003 ニューヨーク州、
ニューヨーク、サード ストリート 3 デ
ィー番、72 イー、

(72)発明者 エンジェル ロザノ

アメリカ合衆国、10006 ニューヨーク州、
ニューヨーク、ウェスト ストリート
21、アパートメント 4 ジー

F ターム(参考) 5K033 AA02 CB06 DA01 DA17 DB16

EA06

5K060 BB07 CC11 FF06 HH15 LL16

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第7部門第3区分
 【発行日】平成17年6月30日(2005.6.30)

【公開番号】特開2002-217752(P2002-217752A)
 【公開日】平成14年8月2日(2002.8.2)
 【出願番号】特願2001-349252(P2001-349252)
 【国際特許分類第7版】
 H 0 4 B 1/04
 H 0 4 L 12/28
 【F I】
 H 0 4 B 1/04 E
 H 0 4 L 12/28 3 0 0 B

【手続補正書】
 【提出日】平成16年10月25日(2004.10.25)
 【手続補正1】
 【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】全文
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【書類名】明細書
 【発明の名称】MIMOシステムの送信器および受信器
 【特許請求の範囲】
 【請求項1】

多入力多出力(MIMO)システムの送信器であって、
 データサブストリームの各々に対するレートとパワーとを生成する手段からなり、前記生成する手段は、前記MIMOシステムの受信器(103)から受信された前記レートと前記パワーとのインジケータのフィードバックに基づいて、前記レートと前記パワーとを生成するよう適合されており、さらに、

該データサブストリームについての前記レートと前記パワーとに対応するレート制御(119)およびパワー制御(121)をそれぞれのデータサブストリームに適用する手段とからなり、

前記データサブストリームの各々に対する前記レートと前記パワーの前記インジケータが、前記送信器から以前送信された信号の受信バージョンに基づいて導出されており、前記受信バージョンが前記受信器で受信され、前記出力の各々が前記入力 of 各々からの信号を受信することを特徴とする送信器。

【請求項2】

請求項1に記載の送信器であって、前記サブストリームの各々に対する前記レートと前記パワーとの各々が前記フィードバックにおいて個別に表されていることを特徴とする送信器。

【請求項3】

請求項1に記載の送信器であって、前記サブストリームの各々に対するそれぞれのレートの各々が前記レートの前記それぞれのインジケータの各々の値であり、前記サブストリームの各々に対する前記それぞれのパワーの各々が前記パワーの前記それぞれのインジケータの各々の値であることを特徴とする送信器。

【請求項4】

請求項1に記載の送信器であって、前記レートの各々と前記パワーの各々とが前記レートと前記パワーとの前記受信したインジケータの関数として決定された値であることを特徴とする送信器。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の送信器であって、前記データストリームの各々に対する前記レートと前記パワーとの前記インジケータは、前記受信器において決定されたチャネル推定の関数であることを特徴とする送信器。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の送信器であって、さらに、

複数の符号器 (107) をさらに有し、前記復号器の 1 つは前記データサブストリームの各々とそれぞれ関連しており、前記復号器の各々はその関連するデータサブストリームに対する前記生成されたレートに反応するものであり、さらに、

複数のシンボルマップ (111) をさらに有し、前記シンボルマップの各々が前記データサブストリームの 1 つのそれぞれの符号化バージョンを受信するよう結合されており、前記シンボルマップの各々は、その関連するデータサブストリームの前記レートに反応するものであることを特徴とする送信器。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の送信器であって、複数の利得乗算器 (113) をさらに有し、前記複数の利得乗算器の各々は、前記受信器からの前記フィードバックの一部として前記データサブストリームのそれぞれに対して受信された前記パワーに反応することを特徴とする送信器。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の送信器であって、複数のインタリーバ (109) をさらに有し、前記インタリーバのそれぞれが前記符号器のそれぞれと前記シンボルマップのそれぞれとの間に結合されていることを特徴とする送信器。

【請求項 9】

請求項 6 に記載の送信器であって、前記シンボルマップの各々が、前記データサブストリームのそれぞれに対する前記符号器のそれぞれと関連することを特徴とする送信器。

【請求項 10】

請求項 6 に記載の送信器であって、前記シンボルマップの各々が、前記データサブストリームのそれぞれに対する送信パスに沿って前記符号器のそれぞれと関連しており、そして送信パスの各々に対して、その関連する符号器とシンボルマップとが同じレートを受信することを特徴とする送信器。

【請求項 11】

請求項 6 に記載の送信器であって、データサブストリームの各々に対して生成された前記レートを前記シンボルマップのそれぞれと前記符号器のそれぞれとに供給するレートコントローラ (119) をさらに有することを特徴とする送信器。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の送信器であって、

複数の利得適用器 (113) をさらに有し、前記利得適用器の 1 つは前記データサブストリームの各々に対するものであり、前記利得適用器の各々は前記データサブストリームの各々に対して生成されたそれぞれのパワーに反応することを特徴とする送信器。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の送信器であって、利用されるべきパワーを前記利得適用器の各々へ供給する利得コントローラをさらに有することを特徴とする送信器。

【請求項 14】

多入力多出力 (MIMO) システムの受信器であって、前記出力の各々が前記入力 of 各々からの信号を受信する複数のチャネルを介して全データストリームから導出される複数のデータサブストリームを受信するものであり、前記受信器は、

チャネル特性を推定する手段 (135) と、

前記チャネル特性を推定する手段に反応して、前記データサブストリームのそれぞれに対するレートとパワーとからなる集合の少なくとも 1 つの集合の少なくとも 1 つのインジケータを計算する計算器 (137) とを有し、前記インジケータは、(1) レートと (2

）パワーとからなる集合の少なくとも1つを設定するために前記サブストリームの送信器によって使用されることを特徴とする受信器。

【請求項15】

請求項14に記載の受信器であって、前記サブストリームのそれぞれに対する前記インジケータを前記送信器へフィードバックとして送信する手段（137）をさらに有することを特徴とする受信器。

【請求項16】

多入力多出力（MIMO）システムにおいて前記出力の各々が前記入力 of 各々から信号を受信する複数のチャネルを介した、全データストリームから導出される複数のデータサブストリームの送信をする処理の際に用いられる方法であって、

符号化データサブストリームを生成するために、前記データサブストリームの各々に対する前記MIMOシステムの受信器からのフィードバックとして受信されたそれぞれのレート of インジケータの各々の関数として、前記データサブストリームの各々を符号化するステップと、

前記符号化データサブストリームの各々をインタリーブした後に前記符号化データサブストリームの各々をマッピングするステップとを有し、前記符号化されインタリーブされデータストリームの各々に対するマッピングが、符号化されインタリーブされマッピングされたデータストリームを生成するために、前記データサブストリームの各々に対する前記MIMOシステムの受信器からのフィードバックとして受信された前記それぞれのレート of 前記インジケータの各々の関数として選択されるコンステレーションを用いて実行されることを特徴とする方法。

【請求項17】

請求項16に記載の方法であって、前記符号化されインタリーブされマッピングされたデータサブストリームの各々のパワー制御のために、前記MIMOシステムの前記受信器からのフィードバックとして受信されたそれぞれのインジケータの関数として、前記符号化されインタリーブされマッピングされたデータサブストリームの各々のパワーを制御するステップをさらに有することを特徴とする方法。

【請求項18】

請求項17に記載の方法であって、各データサブストリームについて1つずつのN個の送信パスとM個の受信パスとがあり、したがってN×M個のチャネルがあり、前記インジケータおよび前記レートは、

N×M行列である全チャネル推定量 \hat{H} を生成するステップと、

チャネル中のノイズパワー $\hat{\sigma}^2$ を決定するステップと、

カウンタnをNの値に初期化するステップと、

変数 $P_{remaining}$ をシステムで利用可能な全送信パワー P_T に初期化するステップと、

n番目のサブストリームの初期パワー割当て P_n に値 $P_{remaining}/n$ を割り当てるステップと、

$R_n = \log_2 \left((1 + P_n h_n^H (H_{n+1:N} P_{n+1:N} H_{n+1:N}^H + I)^{-1} h_n) \right)$ ($n=1, K, N$) を計算するステップ

(R_n は、n番目の送信サブストリームに対して使用されるべきレートであり、

$h_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ は、n番目の送信サブストリームに対する複素M次元ベクトルであり、

$h_{m,n}$ は、n番目の送信サブストリームからm番目の受信ブランチへの複素チャネル係数 ($m=1, \dots, M$) であり、

上付き添字Tは、行列転置演算を表し、

$H_{n+1:N} = [h_{n+1} \dots h_N]$ は、 $M \times (N-n)$ 行列であり、

$P_{n+1:N} = \text{diag} (P_{n+1} \dots P_N)$ は、割り当てられたパワーの ($N-m$) 次対角行列であり、

上付き添字Hは、エルミート共役演算を表し、

上付き添字-1は、逆行列演算を表し、そして

Iは、サイズM×Mの単位行列を表す)と、

R_n を最も近いステップサイズに量子化して \bar{R}_n を生成するステップと、
【数1】

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

(\bar{P}_n は再計算されたパワーを表す)を計算することによって、現在のサブストリームnのパワーを再計算するステップ、

によって受信器において生成されることを特徴とする請求項16記載の方法。

【請求項19】

請求項17に記載の方法であって、 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$ であるとき、
nをデクリメントするステップと、

$P_{\text{remaining}}$ を $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$ に設定するステップと、

nが0に等しくないときには、前記割り当てるステップ、計算するステップ、量子化するステップおよび再計算するステップを繰り返すステップとをさらに有することを特徴とする方法。

【請求項20】

請求項17に記載の方法であって、 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n \leq 0$ であるとき、

\bar{R}_n を、 R_n より小さくて最も近いステップサイズ値に切り下げ量子化された R_n の値と等しく設定するステップと、

前記再計算するステップを繰り返すステップとをさらに有することを特徴とする方法。

【請求項21】

多入力多出力(MIMO)システムの受信器で用いられる方法であって、送信されるべき各データサブストリームについて1つずつのN個の送信パスとM個の受信パスとがあり、したがって全チャンネルにはN×M個のチャンネルがあり、

N×M行列である全チャンネル推定量 \hat{H} を生成するステップと、

チャンネル中のノイズパワー Λ_{σ^2} を決定するステップと、

カウンタnをNの値に初期化するステップと、

変数 $P_{\text{remaining}}$ をシステムで利用可能な全送信パワー P_T に初期化するステップと、

n番目のサブストリームの初期パワー割当て P_n に値 $P_{\text{remaining}}/n$ を割り当てるステップと、

$R_n = \log_2 \left((1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n) \right)$ ($n=1, K, N$)を計算するステップ

(R_n は、n番目の送信サブストリームに対して使用されるべきレートであり、

$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ は、n番目の送信サブストリームに対する複素M次元ベクトルであり、

$h_{m,n}$ は、n番目の送信サブストリームからm番目の受信ブランチへの複素チャンネル係数($m=1, \dots, M$)であり、

上付き添字Tは、行列転置演算を表し、

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ は、 $M \times (N-n)$ 行列であり、

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag} (P_{n+1} \dots P_N)$ は、割り当てられたパワーの $(N-m)$ 次対角行列であり、

上付き添字Hは、エルミート共役演算を表し、

上付き添字-1は、逆行列演算を表し、

Iは、サイズM×Mの単位行列を表す)と、

R_n を最も近いステップサイズに量子化して \bar{R}_n を生成するステップと、

【数 2】

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

(\bar{P}_n は再計算されたパワーを表す) を計算することによって、現在のサブストリーム n のパワーを再計算するステップとを有することを特徴とする方法。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の方法であって、 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$ であるとき、 n をデクリメントするステップと、

$P_{\text{remaining}}$ を $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$ に設定するステップと、

n が 0 に等しくない場合、前記割り当てるステップ、計算するステップ、量子化するステップおよび再計算するステップを繰り返すステップとをさらに有することを特徴とする方法。

【請求項 2 3】

請求項 2 1 に記載の方法であって、 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n \leq 0$ であるとき、

\bar{R}_n を、 R_n より小さくて最も近いステップサイズ値に切り下げ量子化された R_n の値と等しく設定するステップと、

前記再計算するステップを繰り返すステップとをさらに有することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ワイヤレス通信技術に関し、特に、送信器における複数のアンテナおよび受信器における複数のアンテナを用いたワイヤレス通信システム、すなわちいわゆる多入力多出力 (MIMO: multiple-input multiple-output) システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

多入力多出力 (MIMO) システムは、単一アンテナシステム、すなわち、単一アンテナから単一アンテナへ、あるいは、複数のアンテナから単一のアンテナへのシステムに比べて、大幅に改善された容量を達成することができることが当業者に知られている。また、チャネル推定量、あるいは、チャネル推定量に基づくチャネル統計量が送信器にフィードバックされる場合、チャネルのスループットは、フィードバックのない同一構成のシステムに比べて改善されることも当業者に知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、MIMO システムでは、全チャネルは実際には、各送信器・受信器のペアごとに 1 チャネルずつの複数のチャネルからなるため、このようなフィードバックはかなりの帯域幅を要求し、そのように大きい帯域幅をフィードバック用に供するのは好ましくない。

【0004】

【課題を解決するための手段】

本発明の原理によれば、MIMO システムにおいて、全データストリームのそれぞれのデータサブストリームごとのフィードバックとして、そのデータサブストリームの伝送についてのレートインジケータあるいは利得インジケータを供給することにより、チャネル推定量あるいはチャネル統計量をフィードバックするのに要求されるよりも相当に小さい帯域幅を用いて、フィードバックのない場合に比べて実質的な改善が達成される。レートのインジケータあるいは利得インジケータは、レートあるいは利得自体であることも、レートあるいは利得の符号化表現であることも可能である。一般に、レートおよび利得の両方のインジケータがフィードバックされる場合に、最良のパフォーマンスが達成さ

れる。本発明がワイヤレスシステムのために実施される場合、一般に、それぞれのデータサブストリームごとに、別々の独立のアンテナがある。レートおよび利得は、受信器で生成されるチャネル推定量の関数として計算される。送信器は、それぞれのデータサブストリームごとに1次元データ符号化のみを用いればよい。

【0005】

【発明の実施の形態】

以下は、本発明の原理の単なる例示である。当業者には理解されるように、以下では明示的に記載していなくても、本発明の原理を実現するさまざまな構成を考えることが可能であり、それらも本発明の技術思想および技術的範囲に含まれる。さらに、ここに記載されるすべての例および条件は、本発明の原理と、本発明の発明者による技術向上に寄与した考え方との理解を助けるためということを主に意図しており、そのような特に記載された例および条件に限定する意図はないものと解釈されなければならない。さらに、本発明の原理、特徴、および実施例についてのすべての記載は、それらの構造的および機能的等価物（均等物）を含むことを意図している。また、このような均等物には、現在知られている均等物とともに、将来開発される均等物、すなわち、構造にかかわらず同じ機能を実現する要素をも含むことを意図している。

【0006】

したがって、例えば、当業者には理解されるように、ブロック図は、本発明の原理を実現する例示的な回路の概念図を表す。同様に、フローチャート、フロー図、状態遷移図、擬似コードなどは、コンピュータやプロセッサが明示されているかどうかにかかわらず、コンピュータ可読媒体中に実質的に表現されそのようなコンピュータあるいはプロセッサによって実行されるさまざまなプロセスを表す。

【0007】

「プロセッサ」として示された機能ブロックを含む、図示されるさまざまな要素の機能は、専用ハードウェアの使用により、また、適当なソフトウェアと連繋してソフトウェアを実行することが可能なハードウェアの使用により、提供されることが可能である。プロセッサによって提供される場合、その機能は、単一の専用プロセッサによって、単一の共有プロセッサによって、あるいは、複数のプロセッサ（その一部は共有でもよい）によって提供されることが可能である。さらに、「プロセッサ」あるいは「コントローラ」という用語の明示的使用は、ソフトウェアを実行可能なハードウェアのみを指すものと解釈されるべきではなく、默示的に、デジタル信号プロセッサ（DSP）ハードウェア、ソフトウェアを記憶するための読み出し専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、および不揮発性記憶を含むことが可能であり、またこれらには限定されない。他のハードウェアも、定形・カスタムにかかわらず含まれる。同様に、図示されるスイッチは単に概念的なものである。それらの機能は、プログラムロジックの動作により、専用ロジックにより、プログラム制御と専用ロジックの相互作用により、あるいは手動でも、実行可能であり、個々の技術は、状況から具体的に理解されるようにして、実装者により選択可能である。

【0008】

特許請求の範囲において、指定された機能を実行する手段として表現される要素は、（a）その機能を実行する回路要素の組合せ、または（b）任意の形式の、したがって、ファームウェア、マイクロコードなどを含むソフトウェアと、その機能を実現するようにそのソフトウェアを実行するための適当な回路との組合せ、を包含することを意図している。このような特許請求の範囲によって定義される本発明は、記載されたさまざまな手段によって提供される機能が、特許請求の範囲に記載されたように組み合わせられることに存する。したがって、出願人は、それらの機能を提供することができる任意の手段を、以下で説明するものと等価（均等）であるとみなす。

【0009】

図1に、本発明の原理に従って、単一アンテナシステムに比べて大幅に改善された容量を達成するように構成された多入力多出力（MIMO）システムの実施例を示す。具体的

には、図1は、送信器101および受信器103を示している。送信器101は、(a) デマルチプレクサ(DEMUX)105、(b) 符号器107-1~107-Nを含む符号器107、(c) インタリーバ109-1~109-Nを含むインタリーバ109、(d) シンボルマップ111-1~111-Nを含むシンボルマップ111、(e) 利得乗算器113-1~113-Nを含む利得乗算器113、(f) オプションのアップコンバータ115-1~115-Nを含むオプションのアップコンバータ115、(g) オプションの送信アンテナ117-1~117-Nを含むオプションの送信アンテナ117、(h) レートコントローラ119、および(i) 利得コントローラ121、を有する。受信器103は、(a) オプションの受信アンテナ131-1~131-Mを含むオプションの受信アンテナ131、(b) オプションのダウンコンバータ133-1~133-Mを含むオプションのダウンコンバータ133、(c) チャネル推定器135、および(d) パワー/レート計算器137、を有する。

【0010】

デマルチプレクサ105は、送信されるべきデータである全データストリームを入力として受け取り、それを、それぞれが独立の送信パスに沿って処理され送信されるべきN個のデータサブストリームに分ける。

【0011】

符号器107のそれぞれは、データサブストリームの冗長性を増大させるように、受け取ったそれぞれのデータサブストリームにチャネル符号化を施す。これは、誤りが生じた場合に受信器における誤り回復を容易にする。本発明の特徴によれば、使用されるチャネル符号化のタイプは、受信器からフィードバックされるレート、またはそのインジケータの関数である。この関数は、フィードバックされるレートのインジケータに対するルックアップテーブルを用いて実現されることが可能であり、一般に、レートコントローラ119によって実現される。実現されるべきシステムの具体的な詳細、例えば、チャネル統計量、使用されるサブストリームの個数などが与えられた場合に、このような関数をどのようにして構成するかは、当業者には容易に理解されるところである。使用されるチャネル符号化のタイプは、符号化されるデータサブストリームにおける冗長性の特定の量を決定する。なお、この冗長性の量は符号レート(符号化率)として知られている。符号器107のそれぞれは、他の符号器107によって使用されるチャネル符号化とは独立のチャネル符号化を使用することも可能であり、それぞれ、独立に指定されたレートを受け取ることも可能である。

【0012】

インタリーバ109は、本質的に従来のものであり、それぞれ、受け取った符号化データサブストリームのビットを並べ替えて、チャネルフェードに対する保護を提供する。

【0013】

シンボルマップ111のそれぞれは、受け取ったインタリーブされた符号化チャネルサブストリームのビットを、コンステレーション内の1点にマッピングする。本発明の特徴によれば、使用される特定のコンステレーションは、受信器からフィードバックされるレート、またはそのインジケータの関数として選択される。この関数は、フィードバックされるレートのインジケータに対するルックアップテーブルを用いて実現されることが可能であり、一般に、レートコントローラ119によって実現される。実現されるべきシステムの具体的な詳細、例えば、チャネル統計量、使用されるサブストリームの個数などが与えられた場合に、このような関数をどのようにして構成するかは、当業者には容易に理解されるところである。一般に、データ伝送レートが小さいほど、そのレートでデータを伝送するためのコンステレーション内のシンボル数も少ない。

【0014】

本発明の特徴によれば、利得乗算器113のそれぞれは、受け取ったマッピングされたデータサブストリームに、受信器からのフィードバックにおいて示された利得をかける(適用する)。本発明の実施例では、利得乗算器113のうちの1つに対応する特定のチャネルが良好なほど、かけられる利得は、例えばwaterfilling(注水)の原理に従って、大

きくなる。

【0015】

オプションのアップコンバータ115のそれぞれは、従来のアップコンバート機能を実行する。無線型システムの場合、アップコンバータ115のそれぞれは、入力として受け取る利得制御されたマッピングされたデータサブストリームを用いてキャリア波形を変調することによって、無線周波数信号を生成する。結果として得られるそれぞれの変調信号は、アップコンバータ115のそれぞれに結合可能な対応するオプションの送信アンテナ117に供給されることが可能である。

【0016】

レートコントローラ119は、受信器からのフィードバックを介して、レート、またはそのインジケータを受け取り、受け取った情報から、各サブストリームの符号レートおよびコンステレーションサイズを導出する。その後、本発明の特徴によれば、それぞれの符号レート、またはそのインジケータが、使用する適当な符号器およびコンステレーションに供給され、あるいは、そのインジケータが、各シンボルマップに供給される。こうして、レートコントローラ119は、受信器103からフィードバックされる情報から符号レートおよびコンステレーションを決定するために、マッピング機能を実行することが可能となる。

【0017】

利得コントローラ121は、受信器103からのフィードバックを介して、利得、またはそのインジケータを受け取り、各サブストリームについて対応する利得乗算器113によって使用される利得を導出する。なお、パワーと利得の間には直接の関係がある。具体的には、パワーは、パワーの平方根をとることによって、利得に変換される。したがって、パワーは、利得のインジケータであることが可能であり、その逆も可能である。パワー情報は、フィードバックを介して受け取られる場合、適当な利得に容易に変換可能である。

【0018】

なお、レートコントローラ119の機能は、符号器107およびシンボルマップ111に組み込むことも可能である。同様に、利得コントローラ121の機能は、利得乗算器113に組み込むことも可能である。

【0019】

オプションの受信アンテナ131のそれぞれは、オプションの送信アンテナ117のそれぞれから信号を受信する。各アンテナで受信される信号は、それが結合しているオプションのダウンコンバータ133によってベースバンドに変換される。結果として得られるベースバンド信号は、チャネル推定器135に供給される。

【0020】

チャネル推定器135は、それぞれの送信・受信ペアごとにチャネルの推定量を生成する。したがって、N個の送信アンテナおよびM個の受信アンテナの場合、 $N \times M$ 個のチャネルがある。それぞれのチャネルに対する推定量は、全チャネル推定量の $N \times M$ 行列 \hat{H} にまとめられる。さらに、チャネル推定器135は、チャネルにおけるノイズパワーの推定量 $\hat{\sigma}^2$ を生成する。

【0021】

\hat{H} および $\hat{\sigma}^2$ は、パワー／レート計算器137に供給される。本発明の原理によれば、パワー／レート計算器137は、デマルチプレクサ105によって生成された各データサブストリームに対して送信器101が使用すべきレートRおよびパワーP（これは、上記のように、直接に利得に対応し、利得の形で送信器101によって使用される）またはそのインジケータを計算する。レートおよびパワーは、フィードバックチャネルを用いて送信器101に供給される。

【0022】

レートおよびパワーがパワー／レート計算器137によって割り当てられるプロセスは、実装者に任されている。当業者であれば、以下の説明および例が与えられれば、自己の

プロセスを開発することができる。具体的には、プロセスの目標は、全チャネル容量を最大化するようにレートおよびパワーを割り当てることである。このため、一般に、品質の良いチャネルほど、より高いレートおよびより高いパワーが割り当てられることになる。

【0023】

なお、受信器103には、復号器およびデインタリーバが示されていない。この理由は、復号器およびデインタリーバは（受信器103の出力としてデータを生成する前に、送信器で実行された相補的な作用を逆転させるために）完全な受信器のためには必要であるが、チャネル推定器135に供給されるデータストリームには不要であるので、説明を明確にするために示していないからである。

【0024】

図2に、本発明の特徴に従って、N個の送信サブストリームおよびM個の受信ブランチを有するシステムに対してレートおよびパワーを決定するための例示的なプロセスを示す。本発明の一実施例では、図2のプロセスは常に動作していることが可能である。しかし、プロセスによって決定される値は、以前にフィードバックされた値からの相当の偏差があるときにのみフィードバックされる。本発明のもう1つの実施例では、プロセスの実行を正当化するのに十分な量だけチャネルが変化するとチャネル推定器135（図1）が判定したときにのみ、プロセスの実行を開始することが可能である。例えば、レートおよびパワーが決定された最も最近の \hat{H} と、現在の \hat{H} との差のノルムが規定のしきい値より大きいときに、図2のプロセスがパワー／レート計算器137（図1）によって実行される。

【0025】

レートおよびパワーが計算されるべきであると判定されると、ステップ200（図2）で、プロセスが開始される。ステップ201で、いくつかの変数を初期化する。具体的には、カウンタ n はNの値に初期化され、変数 $P_{remaining}$ の値は P_T に初期化される。 P_T は、図2のプロセスが使用されているシステムで利用可能な全送信パワーである。次に、ステップ203で、 $P_{remaining} / n$ の初期パワー割当て（ P_n で表す）が、 n 番目のサブストリームに割り当てられる。ステップ205で、 $R_n = \log_2 (1 + P_n h_n^H (H_{n+1:N} P_{n+1:N} H_{n+1:N}^H + I)^{-1} h_n)$ （ $n=1, \dots, N$ ）を計算する。ただし、

$h_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ は、 n 番目の送信サブストリームに対する複素M次元ベクトルであり、

$h_{m,n}$ は、 n 番目の送信サブストリームから m 番目の受信ブランチへの複素チャネル係数（ $m=1, \dots, M$ ）であり、

上付き添字 T は、行列転置演算を表し、

$H_{n+1:N} = [h_{n+1} \dots h_N]$ は、 $M \times (N-n)$ 行列であり、

$P_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ は、割り当てられたパワーの $(N-m)$ 次対角行列であり、

上付き添字 H は、エルミート共役演算を表し、

上付き添字 -1 は、逆行列演算を表し、

I は、サイズ $M \times M$ の単位行列を表す。

【0026】

ステップ207で、 R_n の値を、最も近いステップサイズ（例えば、最も近い整数、所定の整数の倍数のうち最も近い整数、または、所定の値の倍数で最も近いもの、など）に量子化する。量子化された R_n の値を \bar{R}_n で表す。

【0027】

ステップ209で、現在のサブストリームのパワーを再計算する。これは、次式を計算することによって実行することが可能である。

【数3】

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

ただし、 \bar{P}_n は、再計算されたパワーを表す。条件分岐点 211 は、 $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$ であるかどうかを判定するためのテストを行う。このテストは、残りのパワーの量が、サブストリーム n に割り当てられるパワーの量より大きいかどうか、すなわち、その割当てをサポートするのに十分なパワーが残っているためパワー割当てが実際に実行可能であるかどうか、を判定する。ステップ 211 におけるテスト結果が YES であり、パワー割当てが実際に実行可能であることを示している場合、制御はステップ 213 に移り、そこで、カウンタ n がデクリメントされ、 $P_{\text{remaining}}$ に $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$ が代入される。

【0028】

条件分岐点 215 は、 $n = 0$ であるかどうか、すなわち、すべてのサブストリームの処理が済んだかどうか、を判定するためのテストを行う。ステップ 215 におけるテスト結果が NO である場合、制御はステップ 203 に戻り、プロセスは上記のとおり継続される。ステップ 215 におけるテスト結果が YES である場合、制御はステップ 217 に移り、プロセスは終了する。

【0029】

ステップ 211 におけるテスト結果が NO である場合、パワー割当てが実際には実行可能でないことを示しており、制御はステップ 219 に移り、そこで、 \bar{R}_n は、 R_n より小さくて最も近いステップサイズ（例えば、 R_n より小さい最も近い整数、所定の整数の倍数のうち R_n より小さい最も近い整数、または、所定の値の倍数で最も近いものであって R_n より小さい数、など）に切り下げ量子化された R_n の値に等しいとおかれる。この結果、 \bar{P}_n の値は小さくなる。その後、制御はステップ 209 に戻り、プロセスは上記のとおり継続される。

【0030】

図 2 のプロセスが完了すると、生成されたレートおよびパワーは、送信器での使用のためにフィードバックパスを介して提供されることが可能である。あるいは、レートおよびパワーは、符号化され、適当なレートおよびパワー（したがって利得）を決定するために送信器によって解釈されることが可能なインジケータによって表現されるようにすることも可能である。この場合も、上記のように、パワーは、受信器において利得に変換され、利得情報自体、またはその符号化された表現が、送信器での使用のためにフィードバックパスを介して提供されることが可能である。さらに、本発明の特徴によれば、レートに関する情報のみ、またはパワー（したがって利得）に関する情報のみをフィードバックしても、（両方をフィードバックするほうがパフォーマンスは良好になるが）従来技術に比べて改善が達成される。

【0031】

【発明の効果】

以上述べたごとく、本発明によれば、MIMO システムにおいて、全データストリームのそれぞれのデータサブストリームごとのフィードバックとして、そのデータサブストリームの伝送についてのレートのインジケータあるいは利得のインジケータを供給することにより、チャネル推定量あるいはチャネル統計量をフィードバックするのに要求されるよりも相当に小さい帯域幅を用いて、フィードバックのない場合に比べて実質的な改善が達成される。

【0032】

特許請求の範囲の発明の要件の後に括弧で記載した番号がある場合は、本発明の一実施例の対応関係を示すものであって、本発明の範囲を限定するものと解釈すべきではない。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の原理に従って、単一アンテナシステムに比べて大幅に改善された容量を達成するように構成された多入力多出力（MIMO）システムの実施例の図である。

【図 2】

本発明の特徴に従って、N個の送信サブストリームおよびM個の受信ブランチを有するシステムに対してレートおよびパワーを決定するための例示的なプロセスを示す図である。

。

【符号の説明】

- 101 送信器
- 103 受信器
- 105 デマルチプレクサ（DEMUX）
- 107 符号器
- 109 インタリーバ
- 111 シンボルマップ
- 113 利得乗算器
- 115 アップコンバータ
- 117 送信アンテナ
- 119 レートコントローラ
- 121 利得コントローラ
- 131 受信アンテナ
- 133 ダウンコンバータ
- 135 チャネル推定器
- 137 パワー／レート計算器



(12) EUROPEAN PATENT APPLICATION

(43) Date of publication:
22.05.2002 Bulletin 2002/21

(51) Int Cl.7: H04L 1/00, H04B 7/06

(21) Application number: 01304722.0

(22) Date of filing: 29.05.2001

(84) Designated Contracting States:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Designated Extension States:
AL LT LV MK RO SI

• Huang, Howard C.
New York, New York 10003 (US)
• Lozano, Angel
New York, New York 10006 (US)

(30) Priority: 16.11.2000 US 714084

(71) Applicant: LUCENT TECHNOLOGIES INC.
Murray Hill, New Jersey 07974-0636 (US)

(74) Representative:
Watts, Christopher Malcolm Kelway, Dr.
Lucent Technologies (UK) Ltd,
5 Mornington Road
Woodford Green Essex, IG8 0TU (GB)

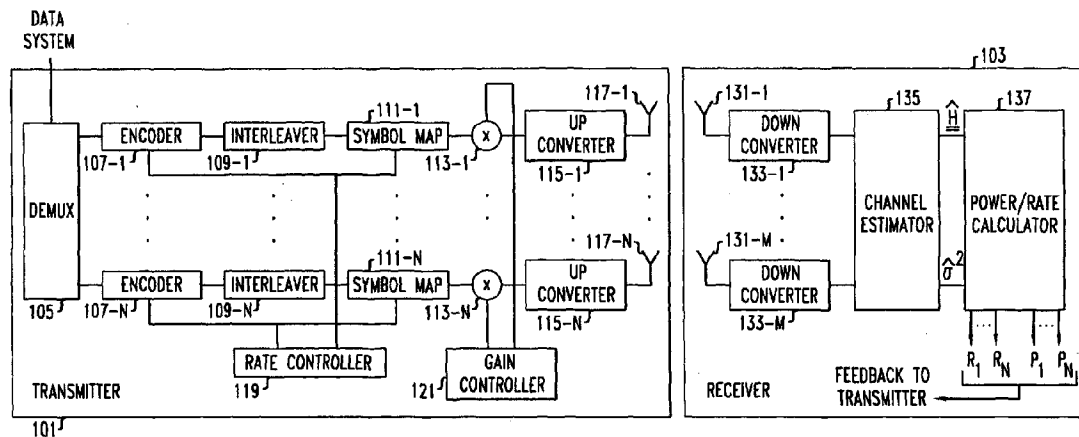
(72) Inventors:
• Chung, Seong-Taek
Mountain View, California 94041 (US)

(54) Feedback technique for wireless systems with multiple transmit and receive antennas

(57) In a wireless communication system using multiple antennas at the transmitter and multiple antennas at the receiver, a so called multiple-input multiple-output (MIMO) system, a substantial improvement in capacity over the case of no feedback can be achieved using considerably less bandwidth than is required to feed-back the channel estimate or channel statistics, by supplying as feedback for each data substream of an overall data stream an indicator of a rate and/or an indicator of a gain for transmission of that data substream. The in-

dicator of the rate and/or the indicator of the gain may be the rate and/or gain directly or an encoded representation of the rate and/or gain. Typically, the best performance is achieved if indicators of both the rate and the gain are fed back. If the invention is implemented for wireless systems, then typically for each data substream there is a separate, independent antenna. The rate and the gain are computed as a function of a channel estimate which is developed at the receiver. Advantageously, the transmitter may employ only one-dimensional data coding for each of the data substreams.

FIG. 1



Description

Technical Field

[0001] This invention relates to the art of wireless communications, and more particularly, to wireless communication systems using multiple antennas at the transmitter and multiple antennas at the receiver, so called multiple-input multiple-output (MIMO) systems.

Background of the Invention

[0002] It is known in the art that multiple-input multiple-output (MIMO) systems can achieve dramatically improved capacity as compared to single antenna, i.e., single antenna to single antenna or multiple antenna to single antenna, systems. It is also known in the art that if a channel estimate or channel statistics based on the channel estimate are fed back to the transmitter, then the throughput of the channel can be improved with respect to an identically configured system but without feedback. However, because in MIMO systems the overall channel is actually made up of multiple channels, with one channel for each transmit and receive pairing, such feedback requires considerable bandwidth, and it is undesirable to dedicate so much bandwidth to feedback.

Summary of the Invention

[0003] In a MIMO system, a substantial improvement over the case of no feedback can be achieved using considerably less bandwidth than is required to feedback the channel estimate or channel statistics, in accordance with the principles of the invention, by supplying as feedback for each data substream of an overall data stream an indicator of a rate and/or an indicator of a gain for transmission of that data substream. The indicator of the rate and/or the indicator of the gain may be the rate and/or gain directly or an encoded representation of the rate and/or gain. Typically, the best performance is achieved if indicators of both the rate and the gain are fed back. If the invention is implemented for wireless systems, then typically for each data substream there is a separate, independent antenna. The rate and the gain are computed as a function of a channel estimate which is developed at the receiver. Advantageously, the transmitter may employ only one-dimensional data coding for each of the data substreams.

Brief Description of the Drawing

[0004] In the drawing:

FIG. 1 shows an exemplary multiple-input multiple-output (MIMO) system arranged in accordance with the principles of the invention so as to achieve dramatically improved capacity as compared to single

antenna systems; and

FIG. 2 shows an exemplary process for determining rates and powers for a system with N transmit substreams and M receive branches, in accordance with an aspect of the invention.

Detailed Description

[0005] The following merely illustrates the principles of the invention. It will thus be appreciated that those skilled in the art will be able to devise various arrangements which, although not explicitly described or shown herein, embody the principles of the invention and are included within its spirit and scope. Furthermore, all examples and conditional language recited herein are principally intended expressly to be only for pedagogical purposes to aid the reader in understanding the principles of the invention and the concepts contributed by the inventor(s) to furthering the art, and are to be construed as being without limitation to such specifically recited examples and conditions. Moreover, all statements herein reciting principles, aspects, and embodiments of the invention, as well as specific examples thereof, are intended to encompass both structural and functional equivalents thereof. Additionally, it is intended that such equivalents include both currently known equivalents as well as equivalents developed in the future, i.e., any elements developed that perform the same function, regardless of structure.

[0006] Thus, for example, it will be appreciated by those skilled in the art that the block diagrams herein represent conceptual views of illustrative circuitry embodying the principles of the invention. Similarly, it will be appreciated that any flow charts, flow diagrams, state transition diagrams, pseudocode, and the like represent various processes which may be substantially represented in computer readable medium and so executed by a computer or processor, whether or not such computer or processor is explicitly shown.

[0007] The functions of the various elements shown in the FIGs., including functional blocks labeled as "processors" may be provided through the use of dedicated hardware as well as hardware capable of executing software in association with appropriate software. When provided by a processor, the functions may be provided by a single dedicated processor, by a single shared processor, or by a plurality of individual processors, some of which may be shared. Moreover, explicit use of the term "processor" or "controller" should not be construed to refer exclusively to hardware capable of executing software, and may implicitly include, without limitation, digital signal processor (DSP) hardware, read-only memory (ROM) for storing software, random access memory (RAM), and non-volatile storage. Other hardware, conventional and/or custom, may also be included. Similarly, any switches shown in the FIGs. are conceptual only. Their function may be carried out through the operation of program logic, through dedicat-

ed logic, through the interaction of program control and dedicated logic, or even manually, the particular technique being selectable by the implementor as more specifically understood from the context.

[0008] In the claims hereof any element expressed as a means for performing a specified function is intended to encompass any way of performing that function including, for example, a) a combination of circuit elements which performs that function or b) software in any form, including, therefore, firmware, microcode or the like, combined with appropriate circuitry for executing that software to perform the function. The invention as defined by such claims resides in the fact that the functionalities provided by the various recited means are combined and brought together in the manner which the claims call for. Applicant thus regards any means which can provide those functionalities as equivalent as those shown herein.

[0009] FIG. 1 shows an exemplary multiple-input multiple-output (MIMO) system arranged in accordance with the principles of the invention so as to achieve dramatically improved capacity as compared to single antenna systems. In particular, FIG. 1 shows transmitter 101 and receiver 103. Transmitter 101 includes a) demultiplexer (demux) 105; b) encoders 107, including encoders 107-1 through 107-N; c) interleavers 109, including interleavers 109-1 through 109-N; d) symbol mappers 111, including symbol mappers 111-1 through 111-N; e) gain multipliers 113, including gain multipliers 113-1 through 113-N; f) optional upconverters 115, including optional upconverters 115-1 through 115-N; g) optional transmit antennas 117, including optional transmit antennas 117-1 through 117-N; h) rate controller 119; and i) gain controller 121. Receiver 103 includes a) optional receive antennas 131, including optional receive antennas 131-1 through 131-M; b) optional downconverters 133, including optional downconverters 133-1 through 133-M; c) channel estimator 135; and d) power/rate calculator 137.

[0010] Demultiplexer 105 receives as an input an overall data stream, which is the data to be transmitted, and divides it into N data substreams, each to be processed along an independent transmit path and then transmitted.

[0011] Each of encoders 107 applies channel coding to the respective data substream it receives so as to increase the redundancy of the data substream. This facilitates error recovery at the receiver should errors occur. In accordance with an aspect of the invention, the type of channel coding used is a function of the rate, or an indicator thereof, that is fed back from the receiver. This function may be implemented using a lookup table given an indicator of the rate that is fed back, and is typically implemented by rate controller 119. Those of ordinary skill in the art will readily appreciate how to arrange such a function given the particular details of the system being implemented, e.g., the channel statistics, the number of substreams employed, and the like. The

type of channel coding employed determines the particular amount of redundancy in the encoded data substream, and it is noted that the amount of redundancy is known as the code rate. Each of encoders 107 may use a channel coding that is independent of the channel coding used by any other of encoders 107, and each may receive an independently specified rate.

[0012] Interleavers 109 are conventional in nature and each rearranges the bits of the encoded data substream it receives to provide protection against channel fades.

[0013] Each of symbol mappers 111 maps the bits of the interleaved encoded channel substream that it receives to a point in a constellation. In accordance with an aspect of the invention, the particular constellation employed is selected as a function of the rate, or an indicator thereof, that is fed back from the receiver. This function may be implemented using a lookup table given an indicator of the rate that is fed back, and is typically implemented by rate controller 119. Those of ordinary skill in the art will readily appreciate how to arrange such a function given the particular details of the system being implemented, e.g., the channel statistics, the number of substreams employed, and the like. Typically, the lower the rate of data transmission the lower the number of symbols in the constellation for transmitting data at that rate.

[0014] In accordance with an aspect of the invention, each of gain multipliers 113 applies to the mapped data substream that it receives the gain that was indicated in the feedback from the receiver. In an exemplary embodiment of the invention, the better the particular channel that corresponds to one of gain multipliers 113 the greater the gain that is applied, e.g., in accordance with the principles of waterfilling.

[0015] Each of optional upconverters 115 performs conventional upconverting functionality. In the case of a radio-based system each of upconverters 115 generates a radio frequency signal by modulating a carrier waveform using the gain regulated mapped data substream it receives as an input. Each resulting modulated signal may be supplied to the respective one of optional transmit antennas 117 that may be coupled to each of upconverters 115.

[0016] Rate controller 119 receives the rates, or indicators thereof, via feedback from receiver 103 and derives from the received information the code rate and the constellation size for each substream. Each code rate, or an indicator thereof, is then supplied to the appropriate encoder and the constellation to employ, or an indicator thereof, is supplied to each symbol mapper, in accordance with an aspect of the invention. Thus, rate controller 119 may implement a mapping function to determine the code rate and constellation from the information fed back from receiver 103.

[0017] Gain controller 121 receives the gains, or indicators thereof, via feedback from receiver 103 and derives from the received information the gain to be used

for each substream by the associated one of gain multipliers 113. Note that there is a direct relationship between power and gain. More specifically, power is converted to gain by taking the square root of the power. Thus, power may be an indicator for gain, and vice-versa. If power information is received via feedback, it may easily be converted into the appropriate gain.

[0018] Note that the functionality of rate controller 119 may be incorporated into encoders 107 and symbol mappers 111. Similarly, the functionality of gain controller 121 may be incorporated into gain multipliers 113.

[0019] Each of optional receive antennas 131 receives a signal from each of optional transmit antennas 117. The signals received at each antenna are converted to baseband by the one of optional downconverters 133 to which it is coupled. The resulting baseband signals are fed into channel estimator 135.

[0020] Channel estimator 135 develops an estimate of the channels for each transmit and receive pair. Thus, for N transmit antennas and M receive antennas there are NxM channels. The estimates for each of the channels are collectively arranged into an NxM matrix of the overall channel estimate $\hat{\mathbf{H}}$. Additionally, channel estimator 135 develops an estimate of the noise power in the channel, $\hat{\sigma}^2$.

[0021] $\hat{\mathbf{H}}$ and $\hat{\sigma}^2$ are supplied to power/rate calculator 137 which, in accordance with the principles of the invention, calculates the rates R and powers P—which, as noted above, correspond directly to gains and are used by transmitter 101 in the form of gains—or indicators thereof, that transmitter 101 should use for each data substream produced by demultiplexer 105. The rates and powers are supplied to transmitter 101 using a feedback channel.

[0022] The processes by which rates and powers are assigned by power/rate calculator 137 is up to the implementor. Those of ordinary skill in the art will be able to develop their own processes given the discussion and examples hereinbelow. In particular, the goal of the process is to assign rates and powers to maximize the total channel capacity. Toward this end, typically, those channels that are of a better quality will be assigned higher rates and greater power.

[0023] Note that receiver 103 does not show a decoder and a deinterleaver. This is because, although a decoder and a deinterleaver are necessary for a complete receiver—to reverse the complementary functions performed in the transmitter prior to supplying data as an output of receiver 103—they are not required for the data streams that are supplied to channel estimator 135, and so that are not shown for the sake of clarity of exposition.

[0024] FIG. 2 shows an exemplary process for determining rates and powers for a system with N transmit substreams and M receive branches, in accordance with an aspect of the invention. In one embodiment of the invention, the process of FIG. 2 may be constantly running. However, the values determined by the process

are only fed back when there is a significant deviation from the values that were previously fed back. In another embodiment of the invention, the process may begin to run only when channel estimator 135 (FIG. 1) determines that the channel has changed by an amount sufficient to warrant the running of the process. For example, when the norm of the difference of $\hat{\mathbf{H}}$ at the last time rates and powers were determined and $\hat{\mathbf{H}}$ at the current time is greater than a prescribed threshold. The process of FIG. 2 is performed by power/rate calculator 137 (FIG. 1).

[0025] The process is entered in step 200 (FIG. 2) when it is determined that the rates and powers are to be computed. In step 201 several variables are initialized. In particular, a counter, n, is initialized to the value of N and the value of variable $P_{\text{remaining}}$ is initialized to P_T , which is the total transmit power available in the system in which the process of FIG. 2 is being employed. Next, in step 203, an initial power allocation of $P_{\text{remaining}}/n$, denoted as P_n , is assigned to the nth substream. The value of $R_n = \log_2(1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ ($n = 1, \dots, N$) is calculated in step 205, where

$$\mathbf{h}_n = [h_{n,1} \dots h_{n,M}]^T$$

is the complex M-dimensional vector for the nth transmit substream;

$h_{m,n}$ is the complex channel coefficient from the nth transmit substream to the mth receive branch, with $m = 1 \dots M$;

superscript T indicates the matrix transpose operation;

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ is an M-by-(N-n) matrix;

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ is the diagonal (N-m) matrix of assigned powers;

superscript H indicates the Hermitian transpose operation;

superscript -1 denotes the matrix inverse; and

I is the identity matrix of size M x M.

[0026] In step 207, the value of R_n is quantized to the nearest step size, e.g., the nearest integer, the nearest integer which is a multiple of a selected integer, or the nearest multiple of a selected value, or the like. The quantized value of R_n is denoted as \bar{R}_n .

[0027] The power of the current substream n is recalculated in step 209. This may be performed by calculating

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

, where \bar{P}_n indicates a recalculated power. Conditional branch point 211 tests to determine if $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$.

This test determines if the amount of power remaining is greater than the amount of power that is allocated for substream n , i.e., the power allocation can actually be performed since there is enough power remaining to support it. If the test result in step 211 is YES, indicating that the power allocation can actually be performed, control passes to step 213, in which the counter n is decremented and $P_{\text{remaining}}$ is set to $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$.

[0028] Conditional branch point 215 tests to determine if $n=0$, i.e., have all the substreams been processed. If the test result in step 215 is NO, control passes back to step 203 and the process continues as described above. If the test result in step 215 is YES, control passes to step 217 and the process exits.

[0029] If the test result in step 211 is NO, indicating that the power allocation cannot actually be performed, control passes to step 219 in which \bar{R}_n is set equal to value of R_n quantized down to the nearest step size value that is less than R_n , e.g., the nearest integer lower than R_n , the nearest integer which is a multiple of a selected integer and is lower than R_n , or the nearest multiple of a selected value and is lower than R_n , or the like. This will result in a lower value of \bar{P}_n . Control then passes back to step 209 and the process continues as described above.

[0030] Once the process of FIG. 2 has completed the rates and powers that were generated may be supplied via a feedback path for use in a transmitter. Alternatively, the rates and powers may be encoded so that they are represented by indicators which may be interpreted by the transmitter to determine the appropriate rates and powers—and hence gains. Also, as noted above, the powers may be converted into gains in the receiver, and the gain information directly, or encoded representations thereof, may be supplied via the feedback path for use in the transmitter. Furthermore, in accordance with an aspect of the invention, only information about the rates, or only information about the powers—and hence gains—may be fed back to achieve an improvement over the prior art, although feeding back both results in better performance.

Claims

1. A transmitter of a multiple-input multiple-output (MIMO) system for transmitting a plurality of data substreams derived from a data stream, comprising:

means for receiving as feedback an indicator of a rate and a power for each data substream; and
means for applying to each respective data substream a rate control and a power control corresponding to said indicator of a rate and a power received for said data substream.

2. The invention as defined in claim 1 wherein said in-

dicator of a rate and a power includes an independent denotation of said rate and an independent denotation of said power.

3. The invention as defined in claim 1 wherein said indicator of a rate and a power is said rate and said power.

4. The invention as defined in claim 1 wherein said indicator of a rate and a power is a value which is directly a function of said rate and said power indicated by said indicator.

5. The invention as defined in claim 1 wherein each rate and power are determined by a receiver as a function of channel estimates.

6. A receiver of a multiple-input multiple-output (MIMO) system for receiving a plurality of data substreams derived from a data stream, comprising:

means for estimating channel characteristics; and
means for deriving an indicator of a rate and an indicator of a power for each data substream as a function of estimated channel characteristics developed by said means for estimating; and
means for transmitting said indicator of said rate and said indicator of said power as feedback to a transmitter.

7. A transmitter of a multiple-input multiple-output (MIMO) system for transmitting a plurality of data substreams derived from an overall data stream, comprising:

a plurality of encoders, one encoder for each of said data substreams, each of said encoders being responsive to rate information received as feedback from a receiver of said substreams transmitted by said transmitter; and
a plurality of symbol mappers, each of said symbol mappers coupled to receive a respective encoded version of one of said data substreams, and each of said symbol mappers also being responsive to said rate information.

8. The invention as defined in claim 7 further comprising a plurality of gain multipliers responsive to power information received as part of said feedback from said receiver.

9. The invention as defined in claim 7 further comprising a plurality of interleavers, each respective one of said interleavers being coupled between a respective one of said encoders and a respective one of said symbol mappers.

10. The invention as defined in claim 7 wherein each of said symbol mappers is associated with a respective one of said encoders for a respective one of said data substreams.
11. The invention as defined in claim 7 wherein each of said symbol mappers is associated with a respective one of said encoders along a transmit path for a respective one of said data substreams, and for each transmit path its associated encoder and symbol mapper receive the same rate from said rate information.
12. The invention as defined in claim 7 further comprising a rate controller for supplying to each of said symbol mappers and said encoders a rate to be used in response to said rate information.
13. The invention as defined in claim 7 further comprising a rate controller for supplying to each of said symbol mappers and said encoders a rate to be used in response to said rate information as a function of said rate information which is received in an encoded format.
14. The invention as defined in claim 7 further comprising a rate controller for supplying to each of said symbol mappers and said encoders a rate to be used in response to said rate information.
15. A transmitter of a multiple-input multiple-output (MIMO) system for transmitting a plurality of data substreams derived from an overall data stream, comprising:
- a plurality of gain appliers, one gain applier for each of said data substreams, each of said gain appliers being responsive to power information received as feedback from a receiver of said substreams transmitted by said transmitter.
16. The invention as defined in claim 15 wherein said gain applier is a multiplier.
17. The invention as defined in claim 15 further comprising a gain controller for supplying to each of said gain appliers a power to be used in response to said power information.
18. The invention as defined in claim 15 further comprising a gain controller for supplying to each of said gain appliers a power to be used as a function said power information which is received in an encoded format.
19. A receiver of a multiple-input multiple-output (MIMO) system for receiving a plurality of data substreams derived from an overall data stream, comprising:
- a channel estimator for developing (i) an overall channel estimate from said received plurality of data substreams and (ii) an estimate of noise power in said overall channel; and
- a power calculator for calculating powers, one for each respective one of said substreams, to be used by a transmitter of said substreams.
20. A receiver of a multiple-input multiple-output (MIMO) system for receiving a plurality of data substreams derived from an overall data stream, comprising:
- a channel estimator for developing (i) an overall channel estimate from said received plurality of data substreams and (ii) an estimate of noise power in said overall channel; and
- a rate calculator for calculating rates, one for each respective one of said substreams, to be used by a transmitter of said substreams.
21. A method for use in processing for transmission in a multiple-input multiple-output (MIMO) system a plurality of data substreams derived from an overall data stream, the method comprising the steps of:
- encoding each of said data substreams as a function of each indicator of a respective rate received as feedback from a receiver of said MIMO system for each of said data substreams to produce encoded data substreams; and
- mapping each of said encoded data substreams after they are each respectively interleaved, said mapping for each of said encoded interleaved data stream being performed using a constellation selected as a function of each of said indicators of said respective rate received as feedback from a receiver of said MIMO system for each of said data substreams to produce encoded interleaved mapped data substreams.
22. The invention as defined in claim 21 further comprising the step of controlling the power of each of said encoded interleaved mapped data substreams as a function of respective indicators received as feedback from said receiver of said MIMO system for power control of each of said encoded interleaved mapped data substreams.
23. The invention as defined in claim 22 wherein there are N transmit paths, one for each data substream and M receive paths, so that there are NxM channels, said indicators and said rates are developed in said receiver by the steps of:

developing overall channel estimate $\hat{\mathbf{H}}$, which is an $N \times M$ matrix;
 determine a noise power in the channel, $\hat{\sigma}^2$;
 initializing counter n to the value of N ;
 initializing variable $P_{\text{remaining}}$ to the total transmit power available in the system P_T ;
 assigning an initial power allocation of the n^{th} substream P_n to a value of $P_{\text{remaining}}/n$;
 computing $R_n = \log_2(1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ ($n = 1, \dots, N$)
 where

R_n is a rate to use for the for the n^{th} transmit substream;

$$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$$

is the complex M -dimensional vector for the n^{th} transmit substream;

$h_{m,n}$ is the complex channel coefficient from the n^{th} transmit substream to the m^{th} receive branch, with $m = 1 \dots M$;

superscript T indicates the matrix transpose operation;

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ is an M -by- $(N-n)$ matrix;

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ is the diagonal $(N-m)$ matrix of assigned powers;

superscript H indicates the Hermitian transpose operation;

superscript -1 denotes the matrix inverse; and

\mathbf{I} is the identity matrix of size $M \times M$;

quantizing R_n to the nearest step size to develop \bar{R}_n ; and
 recalculating the power of current substream n by calculating

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

, where \bar{P}_n indicates a recalculated power.

24. The invention as defined in claim 22 further comprising the following steps when $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$

decrementing n ;
 setting $P_{\text{remaining}}$ to $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$; and
 when n is not equal to zero, repeating said assigning, computing, quantizing, and recalculating steps.

25. The invention as defined in claim 22 further comprising the following steps when $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n \leq 0$

setting \bar{R}_n equal to value of R_n quantized down to the nearest step size value that is less than R_n ; and
 repeating said recalculating step.

26. A method for use in a receiver of a multiple-input multiple-output (MIMO) system, in which there are N transmit paths, one for each data substream to be transmitted and M receive paths, so that there are $N \times M$ channels in an overall channel, the method comprising the steps of:

developing overall channel estimate $\hat{\mathbf{H}}$, which is an $N \times M$ matrix;
 determine a noise power in the channel, $\hat{\sigma}^2$;
 initializing counter n to the value of N ;
 initializing variable $P_{\text{remaining}}$ to the total transmit power available in the system P_T ;
 assigning an initial power allocation of the n^{th} substream P_n to a value of $P_{\text{remaining}}/n$;
 computing $R_n = \log_2(1 + P_n \mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n)$ ($n = 1, \dots, N$)
 where

R_n is a rate to use for the for the n^{th} transmit substream;

$\mathbf{h}_n = [h_{1,n} \dots h_{M,n}]^T$ is the complex M -dimensional vector for the n^{th} transmit substream;

$h_{m,n}$ is the complex channel coefficient from the n^{th} transmit substream to the m^{th} receive branch, with $m = 1 \dots M$;

superscript T indicates the matrix transpose operation;

$\mathbf{H}_{n+1:N} = [\mathbf{h}_{n+1} \dots \mathbf{h}_N]$ is an M -by- $(N-n)$ matrix;

$\mathbf{P}_{n+1:N} = \text{diag}(P_{n+1} \dots P_N)$ is the diagonal $(N-m)$ matrix of assigned powers;

superscript H indicates the Hermitian transpose operation;

superscript -1 denotes the matrix inverse; and

\mathbf{I} is the identity matrix of size $M \times M$;

quantizing R_n to the nearest step size to develop \bar{R}_n ; and
 recalculating the power of current substream n by calculating

$$\bar{P}_n = \frac{2^{\bar{R}_n} - 1}{\mathbf{h}_n^H (\mathbf{H}_{n+1:N} \mathbf{P}_{n+1:N} \mathbf{H}_{n+1:N}^H + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{h}_n}$$

, where \bar{P}_n indicates a recalculated power.

27. The invention as defined in claim 26 further comprising the following steps when $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n > 0$

decrementing n ;
setting $P_{\text{remaining}}$ to $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n$; and
when n is not equal to zero, repeating said as-
signing, computing, quantizing, and recalculat-
ing steps.

5

- 28.** The invention as defined in claim 26 further comprising the following steps when $P_{\text{remaining}} - \bar{P}_n \leq 0$

setting \bar{R}_n equal to value of R_n quantized down
to the nearest step size value that is less than
 R_n ; and
repeating said recalculating step.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

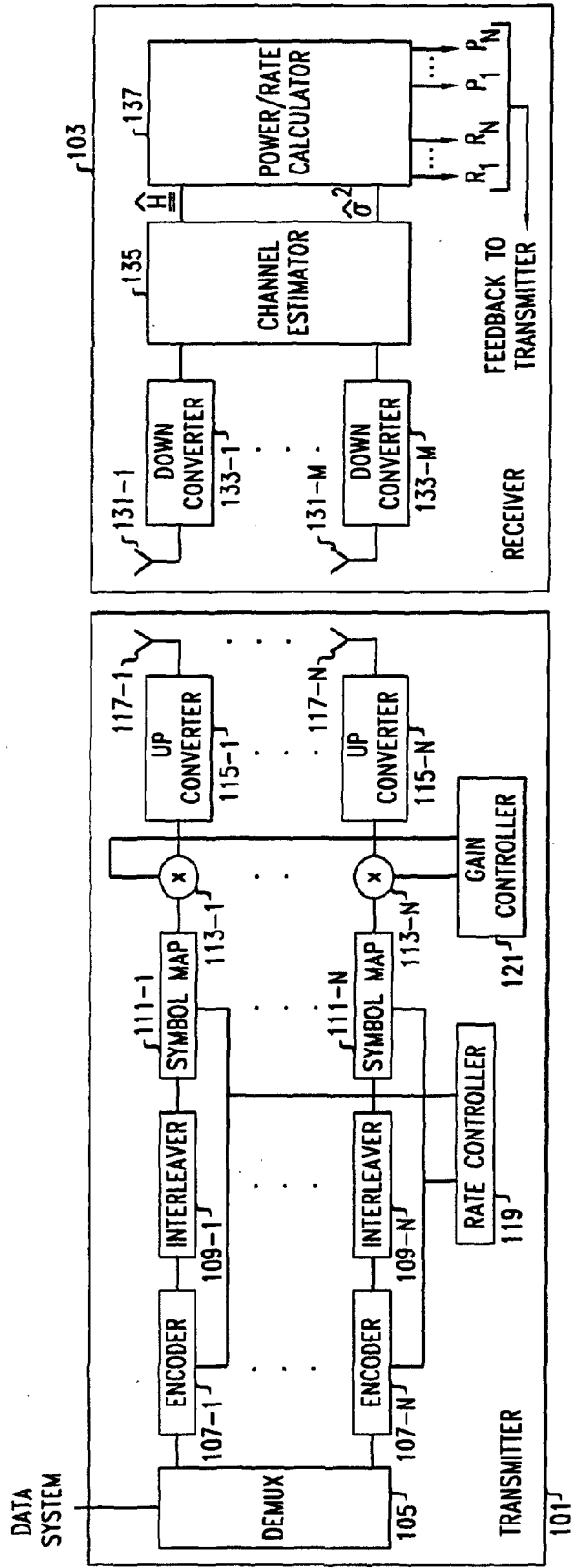
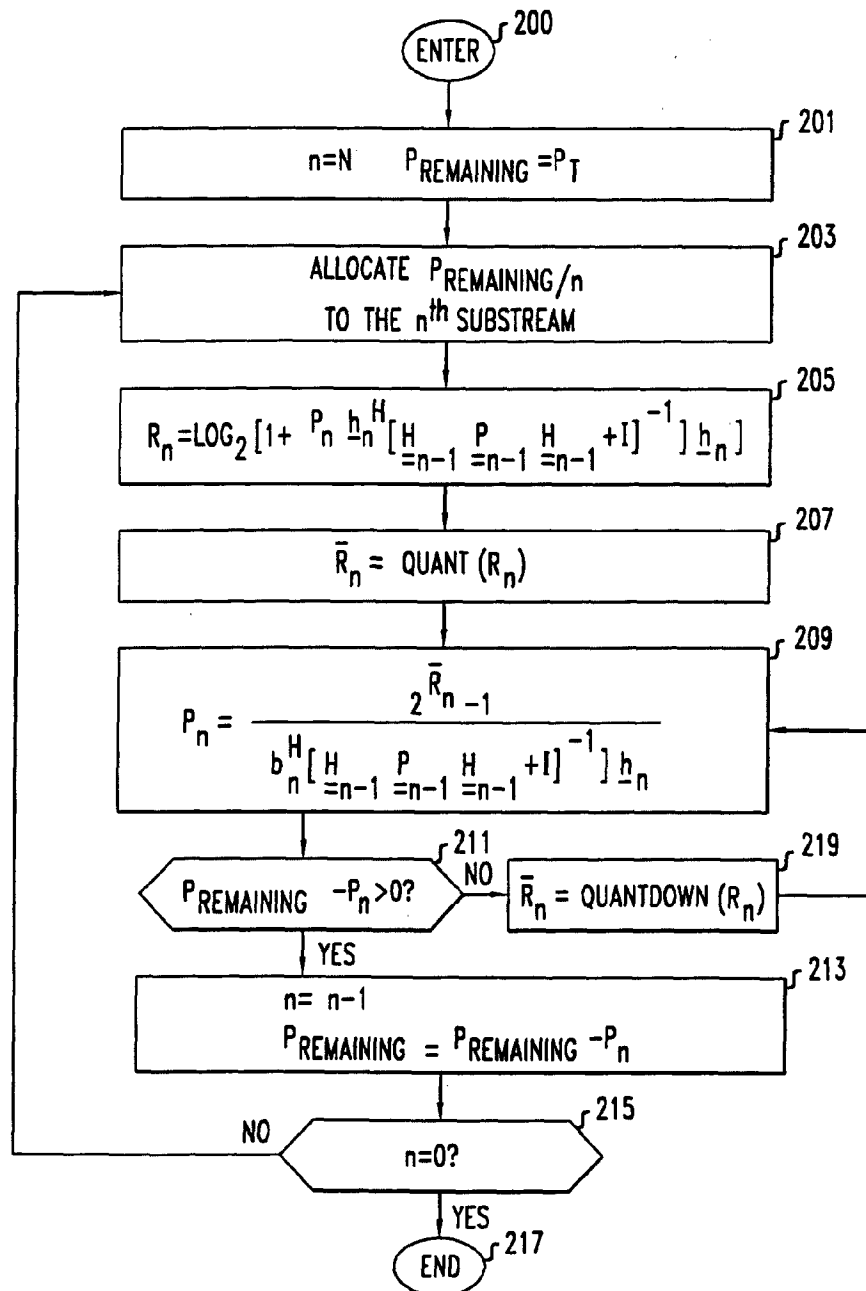


FIG. 2





European Patent
Office

EUROPEAN SEARCH REPORT

Application Number
EP 01 30 4722

DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of relevant passages	Relevant to claim	CLASSIFICATION OF THE APPLICATION (Int.Cl.7)
Y	WO 00 13362 A (HALFMANN RUEDIGER ;EICHINGER JOSEF (DE); LIEGL WERNER (DE); SIEMEN) 9 March 2000 (2000-03-09) * abstract * * claims 1-18 * * figures 2,3 *	1-28	H04L1/00 H04B7/06
Y	KOUSA M A ET AL: "MULTICHANNEL ADAPTIVE SYSTEM" IEE PROCEEDINGS I. SOLID- STATE & ELECTRON DEVICES, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB, vol. 140, no. 5, PART 1, 1 October 1993 (1993-10-01), pages 357-364, XP000403498 ISSN: 0956-3776 * the whole document *	1-28	
A	US 6 084 919 A (CHUPRUN JEFFERY SCOTT ET AL) 4 July 2000 (2000-07-04) * abstract * * column 8, line 10-25 * * column 8, line 56-65 * * figures 1,2 *	1-28	TECHNICAL FIELDS SEARCHED (Int.Cl.7) H04L H04B
A	KNOPP R ET AL: "Power control schemes for TDD systems with multiple transmit and receive antennas" GLOBAL TELECOMMUNICATIONS CONFERENCE - GLOBECOM '99, 1999, pages 2326-2330, XP010373369 * the whole document *	1-28	
The present search report has been drawn up for all claims			
Place of search THE HAGUE		Date of completion of the search 18 March 2002	Examiner Yang, Y
<p>CATEGORY OF CITED DOCUMENTS</p> <p>X : particularly relevant if taken alone Y : particularly relevant if combined with another document of the same category A : technological background O : non-written disclosure P : intermediate document</p> <p>T : theory or principle underlying the invention E : earlier patent document, but published on, or after the filing date D : document cited in the application L : document cited for other reasons & : member of the same patent family, corresponding document</p>			

EPO FORM 1503 (03.02.2001) (F04.03.1)

**ANNEX TO THE EUROPEAN SEARCH REPORT
ON EUROPEAN PATENT APPLICATION NO.**

EP 01 30 4722

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned European search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

18-03-2002

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 0013362	A	09-03-2000	CN	1325573 T	05-12-2001
			WO	0013362 A1	09-03-2000
			EP	1108305 A1	20-06-2001
US 6084919	A	04-07-2000	AU	2474199 A	16-08-1999
			WO	9939472 A1	05-08-1999

EPC FORM P0459

For more details about this annex : see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82